

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-147318

(P2004-147318A)

(43) 公開日 平成16年5月20日(2004.5.20)

(51) Int. Cl. ⁷

H03M 13/19

H03M 13/09

F1

H03M 13/19

H03M 13/09

テーマコード (参考)

5J065

審査請求 有 請求項の数 22 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2003-352527 (P2003-352527)
(22) 出願日 平成15年10月10日 (2003.10.10)
(31) 優先権主張番号 2002-065658
(32) 優先日 平成14年10月26日 (2002.10.26)
(33) 優先権主張国 韓国 (KR)

(71) 出願人 390019839
三星電子株式会社
大韓民国京畿道水原市靈通区梅灘洞 4 1 6
(74) 代理人 100070150
弁理士 伊東 忠彦
(74) 代理人 100091214
弁理士 大貫 進介
(74) 代理人 100107766
弁理士 伊東 忠重
(72) 発明者 金 基 鉉
大韓民国京畿道城南市盆唐区九美洞 2 1 1
番地 ムジゲマウル大林アパート 1 0 3 標
1 1 0 3 号

最終頁に続く

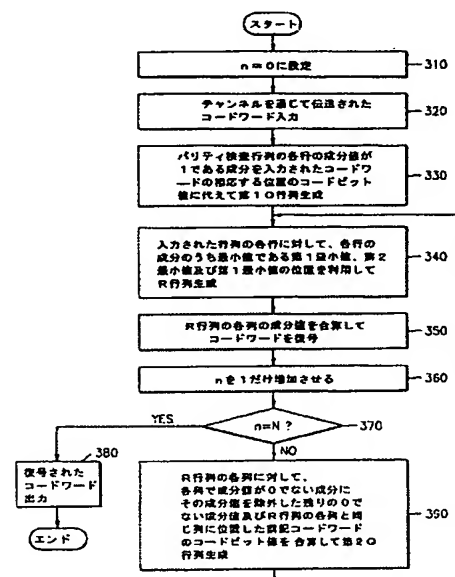
(54) 【発明の名称】 LDPC復号化装置及びその方法

(57) 【要約】

【課題】 LDPC復号化装置及びその方法を提供する。

【解決手段】 チャンネルを通じて伝送された c 個のコードビットよりなるコードワードをLDPC復号化する方法において、(a) 前記コードワード及び多数の0と1の成分よりなる $p \times c$ サイズのパリティ検査行列を入力されて、前記コードワードと前記パリティ検査行列の c 個の成分よりなる p 個の各行とを比較して、各行で成分値が1である成分を前記コードワードの相応する位置のコードビット値に代えて第1 Q行列を生成する段階と、

(b) 前記第1 Q行列の各々の行に対して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び前記第1最小値の位置を利用して、0でない各成分を自己成分値を除外した残りの0でない成分値のうち最小値に代えてR行列を生成する段階と、(c) 前記R行列の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによって c 個のコードビットよりなる復号されたコードワードを出力する段階と、を含む。このようなLDPC復号化方法を利用することによって演算過程の複



【特許請求の範囲】

【請求項1】

チャンネルを通じて伝送された c 個のコードビットよりなるコードワードをLDPC復号化する装置において、

前記コードワード及び多数の0と1の成分よりなる $p \times c$ サイズのパリティ検査行列を入力されて、前記コードワードと前記パリティ検査行列の c 個の成分よりなる p 個の各行とを比較して、各行で成分値が1である成分を前記コードワードに対応する位置のコードビット値に代えて第1Q行列を生成する第1Q行列生成部と、

前記第1Q行列生成部から前記第1Q行列を入力されて、前記第1Q行列の各々の行に対して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び前記第1最小値の位置を利用して、各行の0でない各成分を自己成分値を除外した残りの0でない成分値のうち最小値に代えてR行列を生成するR行列生成部と、

前記コードワード及び前記R行列生成部から前記R行列を入力されて、前記R行列の各々の列に対して、各列で成分値が0でない成分にその成分値を除外した残りの0でない成分値及び前記R行列の各列と同じ列に位置した前記コードワードのコードビット値を合算して第2Q行列を生成し、前記第2Q行列を前記R行列生成部に出力する第2Q行列生成部と、

前記R行列生成部から前記R行列を入力されて、前記R行列の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによって c 個のコードビットよりなる復号されたコードワードを出力する出力計算部と、を含み、

前記R行列生成部は、前記第2Q行列生成部から前記第2Q行列を入力されて他のR行列を生成して前記第2Q行列生成部及び前記出力計算部に出力することを特徴とするLDPC復号化装置。

【請求項2】

前記R行列生成部は、

前記第1Q行列の各行の0でない成分を検査して、最小値である第1最小値、前記第1最小値の位置及び第2最小値を決定する行列成分検査部と、

前記第1Q行列を入力され、前記行列成分検査部から前記第1最小値、前記第1最小値の位置及び前記第2最小値を入力されて、前記第1Q行列の各行の0でない各成分の位置が前記第1最小値の位置ではなければ、前記第1最小値に成分値を代え、前記第1最小値の位置と一致する成分は前記第2最小値に成分値を代えて前記R行列を生成する行列成分決定部と、を含むことを特徴とする請求項1に記載のLDPC復号化装置。

【請求項3】

前記R行列生成部及び前記第2Q行列生成部は、R行列生成動作及び第2Q行列生成動作を反復し、

前記出力計算部は、 N (N は1以上の整数) 番目に入力されたR行列に対して前記復号されたコードワードを出力することを特徴とする請求項1に記載のLDPC復号化装置。

【請求項4】

前記パリティ検査行列をあらかじめ保存するパリティ検査行列保存部をさらに含むことを特徴とする請求項1に記載のLDPC復号化装置。

【請求項5】

前記行列成分検査部は、前記第1Q行列の各行の成分値の絶対値のうち前記第1最小値及び前記第2最小値を決定することを特徴とする請求項2に記載のLDPC復号化装置。

【請求項6】

チャンネルを通じて伝送されてソフトな値を有する c 個のコードビットよりなるコードワードをLDPC復号化する装置において、

前記コードワード及び多数の0と1の成分よりなる $p \times c$ サイズのパリティ検査行列を入力されて、前記コードワードと前記パリティ検査行列の c 個の成分よりなる p 個の各行とを比較して、各行で成分値が1である成分を前記コードワードの相応する位置のコードビット値に代えて第1Q行列を生成する第1Q行列生成部と、

前記第 1 Q 行列生成部から前記第 1 Q 行列を入力されて、前記第 1 Q 行列の各々の行に対して、各行の 0 でない成分のうち最小値である第 1 最小値、第 2 最小値及び前記第 1 最小値の位置を利用して、各行の 0 でない各成分を自己成分値を除外した残りの 0 でない成分値のうち最小値に代えて R 行列を生成する R 行列生成部と、

前記 R 行列生成部から前記 R 行列を入力されて、前記 R 行列の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによって c 個のコードビットよりなる復号されたコードワードを出力する出力計算部と、

前記出力計算部から前記復号されたコードワードを入力されて、前記パリティ検査行列を利用して前記復号されたコードワードの復号の成功可否を判断して前記復号されたコードワードの出力を決定する出力決定部と、

10

復号失敗と判断した前記出力決定部からの制御信号によって、前記コードワード及び前記 R 行列生成部から前記 R 行列を入力されて、前記 R 行列の各々の列に対して各列で成分値が 0 でない成分にその成分値を除外した残りの 0 でない成分値及び前記 R 行列の各列と同じ列に位置した前記コードワードのコードビット値を合算して第 2 Q 行列を生成し、前記第 2 Q 行列を前記 R 行列生成部に出力する第 2 Q 行列生成部と、を含み、

前記 R 行列生成部は、前記第 2 Q 行列生成部から前記第 2 Q 行列を入力されて他の R 行列を生成して前記第 2 Q 行列生成部及び前記出力計算部に出力し、前記出力計算部は前記他の R 行列を利用して新しい復号されたコードワードを前記出力決定部に出力することを特徴とする LDPC 復号化装置。

【請求項 7】

20

前記 R 行列生成部は、

前記第 1 Q 行列の各行の 0 でない成分を検査して、最小値である第 1 最小値、前記第 1 最小値の位置及び第 2 最小値を決定する行列成分検査部と、

前記第 1 Q 行列を入力され、前記行列成分検査部から前記第 1 最小値、前記第 1 最小値の位置及び前記第 2 最小値を入力されて、前記第 1 Q 行列の各行の 0 でない各成分の位置が前記第 1 最小値の位置ではなければ、前記第 1 最小値に成分値を代え、前記第 1 最小値の位置と一致する成分は前記第 2 最小値に成分値を代えて前記 R 行列を生成する行列成分決定部とを含むことを特徴とする請求項 6 に記載の LDPC 復号化装置。

【請求項 8】

前記出力決定部は、次の行列式

30

$$H \cdot M = 0$$

(H は $p \times c$ サイズのパリティ検査行列、M は復号されたコードワードを成分とする行列であり、0 は零行列である)

を満足すれば、復号成功と判断して前記復号されたコードワードを出力することを特徴とする請求項 6 に記載の LDPC 復号化装置。

【請求項 9】

前記パリティ検査行列をあらかじめ保存するパリティ検査行列保存部をさらに含むことを特徴とする請求項 6 に記載の LDPC 復号化装置。

【請求項 10】

前記行列成分検査部は、前記第 1 Q 行列の各行の成分値の絶対値のうち前記第 1 最小値 40 及び前記第 2 最小値を決定することを特徴とする請求項 7 に記載の LDPC 復号化装置。

【請求項 11】

前記出力決定部は、前記行列式によって復号の成功可否を判断した結果、復号に失敗し続けられ、N (N は 1 以上の整数) 番目に入力された復号されたコードワードを出力することを特徴とする請求項 8 に記載の LDPC 復号化装置。

【請求項 12】

チャンネルを通じて伝送された c 個のコードビットよりなるコードワードを LDPC 復号化する方法において、

(a) 前記コードワード及び多数の 0 と 1 の成分よりなる $p \times c$ サイズのパリティ検査行列を入力されて、前記コードワードと前記パリティ検査行列の c 個の成分よりなる p 個 50

の各行とを比較して、各行で成分値が1である成分を前記コードワードの相応する位置のコードビット値に代えて第1Q行列を生成する段階と、

(b) 前記第1Q行列の各々の行に対して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び前記第1最小値の位置を利用して、0でない各成分を自己成分値を除外した残りの0でない成分値のうち最小値に代えてR行列を生成する段階と、

(c) 前記R行列の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによってc個のコードビットよりなる復号されたコードワードを出力する段階とを含むことを特徴とするLDPC復号化方法。

【請求項13】

前記(b)段階は、

(b1) 前記第1Q行列の各行の0でない成分を検査して、最小値である第1最小値、前記第1最小値の位置及び第2最小値を決定する段階と、

(b2) 前記第1Q行列の各行の0でない各成分の位置が前記第1最小値の位置ではなければ、前記第1最小値に成分値を代え、前記第1最小値の位置と一致する成分は前記第2最小値に成分値を代えて前記R行列を生成する段階とを含むことを特徴とする請求項12に記載のLDPC復号化方法。

【請求項14】

(d) 前記R行列の各々の列に対して各列で成分値が0でない成分にその成分値を除外した残りの0でない成分値及び前記R行列の各列と同じ列に位置した前記コードワードのコードビット値を合算して第2Q行列を生成して前記(b)段階の入力として提供する段階と、

(e) 前記(b)段階ないし前記(d)段階を所定回数反復し、前記(c)段階はN(Nは1以上の整数)番目に入力されたR行列に対して前記復号されたコードワードを出力する段階とをさらに含むことを特徴とする請求項12に記載のLDPC復号化方法。

【請求項15】

前記(b1)段階は、前記第1Q行列の各行の成分値の絶対値のうち前記第1最小値及び前記第2最小値を決定する段階であることを特徴とする請求項13に記載のLDPC復号化方法。

【請求項16】

チャンネルを通じて伝送されたc個のコードビットよりなるコードワードをLDPC復号化する方法において、

(a) 前記コードワード及び多数の0と1の成分よりなる $p \times c$ サイズのパリティ検査行列を入力されて、前記コードワードと前記パリティ検査行列のc個の成分よりなるp個の各行とを比較して、各行で成分値が1である成分を前記コードワードの相応する位置のコードビット値に代えて第1Q行列を生成する段階と、

(b) 前記第1Q行列の各々の行に対して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び前記第1最小値の位置を利用して、0でない各成分を自己成分値を除外した残りの0でない成分値のうち最小値に代えてR行列を生成する段階と、

(c) 前記R行列の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによってc個のコードビットよりなる復号されたコードワードを計算する段階と、

(d) 前記パリティ検査行列を利用して前記復号されたコードワードの復号の成功可否を判断して復号に成功すれば、前記復号されたコードワードを出力する段階とを含むことを特徴とするLDPC復号化方法。

【請求項17】

前記(b)段階は、

(b1) 前記第1Q行列の各行の0でない成分を検査して、最小値である第1最小値、前記第1最小値の位置及び第2最小値を決定する段階と、

(b2) 前記第1Q行列の各行の0でない各成分の位置が前記第1最小値の位置ではなければ、前記第1最小値に成分値を代え、前記第1最小値の位置と一致する成分は前記第2最小値に成分値を代えて前記R行列を生成する段階とを含むことを特徴とする請求項15

6に記載のLDPC復号化方法。

【請求項18】

(e) 前記(d)段階で復号失敗と判断されれば、前記R行列の各々の列に対して各列で成分値が0でない成分にその成分値を除外した残りの0でない成分値及び前記R行列の各列と同じ列に位置した前記コードワードのコードビット値を合算して第2Q行列を生成して前記(b)段階の入力として提供する段階と、

(f) 前記(b)段階ないし前記(e)段階を反復する段階とをさらに含むことを特徴とする請求項16に記載のLDPC復号化方法。

【請求項19】

前記(d)段階は、次の行列式

$$H \cdot M = 0$$

(Hは $p \times c$ サイズのパリティ検査行列、Mは復号されたコードワードを成分とする列行列であり、0は零行列である)

を満足すれば、復号成功と判断して前記復号されたコードワードを出力する段階であることを特徴とする請求項16に記載のLDPC復号化方法。

【請求項20】

前記(b1)段階は、前記第1Q行列の各行の成分値の絶対値のうち前記第1最小値及び前記第2最小値を決定する段階であることを特徴とする請求項17に記載のLDPC復号化方法。

【請求項21】

前記(d)段階は、前記行列式によって復号の成功可否を判断した結果、復号に失敗し続ければ、N(Nは1以上の整数)番目に入力された復号されたコードワードを出力する段階であることを特徴とする請求項19に記載のLDPC復号化方法。

【請求項22】

請求項12に記載の方法を実現するためのプログラムを記録したコンピュータで読取れる記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はエラー訂正復号化装置及びその方法に係り、特にLDPC復号アルゴリズムの具現時、その複雑度を減少させて復号化性能を向上させる復号化装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

無線通信分野または光記録再生分野で使われるエラー訂正符号化技術の一つとしてLDPC(Low Density Parity Code)符号化方法がある。LDPC符号化は、成分値1を有する成分が各行及び各列に一定数ずつ含まれ、その他の成分は成分値0を有するパリティ検査行列を利用してパリティ情報(付加情報)を生成する過程を含む。言い換えれば、次の式(1)を満足するようにパリティ情報を決定する。

【0003】

$$H \cdot C = 0 \quad (1)$$

Hは $p \times c$ サイズのパリティ検査行列であり、0は零行列である。Cはc個のビットよりなるコードワードを成分とする列行列であって、コードワードはmビットのメッセージワード k_1, k_2, \dots, k_m 及びpビットのパリティ情報 x_1, x_2, \dots, x_p よりなる。パリティ検査行列H及び行列Cの構成成分のうち符号化対象であるメッセージワードは値を知っているため、前記式(1)によってパリティ情報 x_i ($i=1, 2, \dots, p$)を決められる。

【0004】

LDPC符号化に関するさらに詳細な説明は非特許文献1に記述されている。

【0005】

LDPC符号化されてチャンネルを通じて伝送されてエラーを含むコードワードを復号

化する時にも、符号化時に使われたパリティ検査行列を利用して復号化する。この時、多数の行列演算が要求される。演算過程中には行列の各行に存在する一つの成分を自己成分値を除外した残りの成分値を積算した値に代える過程がある。このような積算動作はシステム具現の複雑度を高める問題がある。

【0006】

従来、システム複雑度を誘発させる行列成分間の積算動作を行わず、LDPC復号化するアルゴリズムに関する技術が提案された。これによれば、積算動作の代わりに、行列の各行の成分を自己成分値を除外した残りの各行の成分値のうち最小値に代える動作を行ってほぼ同じ結果を得られるという。これについてのさらに詳細な内容は非特許文献2に記述されている。

10

【0007】

しかし、積算動作を代える前述した従来技術の場合でも、各行を構成する多数の成分のうち最小値を求める動作を行列の構成成分の数に当たる回数だけ反復しなければならないので、同様に複雑度が高い問題がある。

【非特許文献1】“Good error correction codes based on very sparse matrices” (D. J. MacKay, IEEE Trans. on Information Theory, vol. 45, no. 2, pp. 399-431, 1999)

【非特許文献2】“Reduced complexity iterative decoding of low density parity check codes based on belief propagation” (M. Fossorier, M. Mihaljevic and H. Imai, IEEE Trans. on Communications, vol. 47, no. 5, pp. 673-680, 1999)

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明が解決しようとする技術的課題は、LDPC符号化されてチャンネルを通じて伝送されたコードワードをパリティ検査行列を利用して復号化する場合に演算過程の複雑度を減少させて復号化性能を向上させるLDPC復号化装置及び方法を提供することである

30

【発明を解決するための手段】

【0009】

前記課題を達成するために、本発明によるLDPC復号化装置は、チャンネルを通じて伝送された c 個のコードビットよりなるコードワードをLDPC復号化する装置において、前記コードワード及び多数の0と1の成分よりなる $p \times c$ サイズのパリティ検査行列を入力されて、前記コードワードと前記パリティ検査行列の c 個の成分よりなる p 個の各行とを比較して、各行で成分値が1である成分を前記コードワードの対応する位置のコードビット値に代えて第1 Q行列を生成する第1 Q行列生成部と、前記第1 Q行列生成部から前記第1 Q行列を入力されて、前記第1 Q行列の各々の行に対して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び前記第1最小値の位置を利用して、各行の0でない各成分を自己成分値を除外した残りの0でない成分値のうち最小値に代えてR行列を生成するR行列生成部と、前記コードワード及び前記R行列生成部から前記R行列を入力されて、前記R行列の各々の列に対して各列で成分値が0でない成分にその成分値を除外した残りの0でない成分値及び前記R行列の各列と同じ列に位置した前記コードワードのコードビット値を合算して第2 Q行列を生成し、前記第2 Q行列を前記R行列生成部へ出力する第2 Q行列生成部と、前記R行列生成部から前記R行列を入力されて、前記R行列の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによって c 個のコードビットよりなる復号されたコードワードを出力する出力計算部と、を含み、前記R行列生成部は、前記第2 Q行列生成部から前記第2 Q行列を入力されて他のR行列を生成して

40

50

前記第2 Q行列生成部及び前記出力計算部に出力することを特徴とすることが望ましい。

【0010】

前記課題を達成するために、本発明による他のLDPC復号化装置は、チャンネルを通じて伝送された c 個のコードビットよりなるコードワードをLDPC復号化する装置において、前記コードワード及び多数の0と1の成分よりなる $p \times c$ サイズのパリティ検査行列を入力されて、前記コードワードと前記パリティ検査行列の c 個の成分よりなる p 個の各行とを比較して、各行で成分値が1である成分を前記コードワードの相応する位置のコードビット値に代えて第1 Q行列を生成する第1 Q行列生成部と、前記第1 Q行列生成部から前記第1 Q行列を入力されて、前記第1 Q行列の各々の行に対して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び前記第1最小値の位置を利用して、10
各行の0でない各成分を自己成分値を除外した残りの0でない成分値のうち最小値に代えてR行列を生成するR行列生成部と、前記R行列生成部から前記R行列を入力されて、前記R行列の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによって c 個のコードビットよりなる復号されたコードワードを出力する出力計算部と、前記出力計算部から前記復号されたコードワードを入力されて、前記パリティ検査行列を利用して前記復号されたコードワードの復号の成功可否を判断して前記復号されたコードワードの出力を決定する出力決定部と、復号失敗と判断した前記出力決定部からの制御信号によって、前記コードワード及び前記R行列生成部から前記R行列を入力されて、前記R行列の各々の列に対して各列で成分値が0でない成分にその成分値を除外した残りの0でない成分値及び
20
前記R行列の各列と同じ列に位置した前記コードワードのコードビット値を合算して第2 Q行列を生成し、前記第2 Q行列を前記R行列生成部に出力する第2 Q行列生成部と、を含み、前記R行列生成部は前記第2 Q行列生成部から前記第2 Q行列を入力されて他のR行列を生成して前記第2 Q行列生成部及び前記出力計算部に出力し、前記出力計算部は前記他のR行列を利用して新しい復号されたコードワードを前記出力決定部に出力することを特徴とすることが望ましい。

【0011】

前記課題を達成するために、本発明によるLDPC復号化方法は、チャンネルを通じて伝送された c 個のコードビットよりなるコードワードをLDPC復号化する方法において、(a)前記コードワード及び多数の0と1の成分よりなる $p \times c$ サイズのパリティ検査行列を入力されて、前記コードワードと前記パリティ検査行列の c 個の成分よりなる p 個
30
の各行とを比較して、各行で成分値が1である成分を前記コードワードの相応する位置のコードビット値に代えて第1 Q行列を生成する段階と、(b)前記第1 Q行列の各々の行に対して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び前記第1最小値の位置を利用して、0でない各成分を自己成分値を除外した残りの0でない成分値のうち最小値に代えてR行列を生成する段階と、(c)前記R行列の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによって c 個のコードビットよりなる復号されたコードワードを出力する段階と、を含むことを特徴とすることが望ましい。

【0012】

前記課題を達成するために、本発明による他のLDPC復号化方法は、チャンネルを通じて伝送された c 個のコードビットよりなるコードワードをLDPC復号化する方法において、(a)前記コードワード及び多数の0と1の成分よりなる $p \times c$ サイズのパリティ検査行列を入力されて、前記コードワードと前記パリティ検査行列の c 個の成分よりなる p 個の各行とを比較して、各行で成分値が1である成分を前記コードワードの相応する位置のコードビット値に代えて第1 Q行列を生成する段階と、(b)前記第1 Q行列の各々の行に対して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び前記
40
第1最小値の位置を利用して、0でない各成分を自己成分値を除外した残りの0でない成分値のうち最小値に代えてR行列を生成する段階と、(c)前記R行列の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによって c 個のコードビットよりなる復号されたコードワードを計算する段階と、(d)前記パリティ検査行列を利用して前記復号されたコードワードの復号の成功可否を判断して復号に成功すれば、前記復号されたコード
50

ワードを出力する段階と、を含むことを特徴とすることが望ましい。

【発明の効果】

【0013】

本発明によるLDPC復号化装置及び方法は、LDPC復号化過程のうち行列Rを生成する場合に、行列の各成分値をかけるか、あるいは行列Rの一つの成分値を決定するために毎度異なる成分値を全て比較して、そのうち最小値を決定する過程を反復しなければならない従来技術と違って、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び第1最小値の位置をまず把握した後、その情報を利用することによって演算過程の複雑度を低めてLDPC復号化性能を向上させる効果を有する。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0014】

以下、添付された図面を参照して、本発明による望ましい実施例を詳細に説明する。

【0015】

図1ないし図3Eを参照して、本発明によるLDPC復号化装置の一実施例を説明する。

【0016】

図1は、LDPC復号化装置を示すブロック図である。図1を参照すれば、LDPC復号化装置は、パリティ検査行列保存部110、第1Q行列生成部120、R行列生成部130、第2Q行列生成部140及び出力計算部150を含む。

【0017】

20

パリティ検査行列保存部110は、LDPC符号化時に使われたパリティ検査行列Hを保存して第1Q行列生成部120に提供する。

【0018】

第1Q行列生成部120は、チャンネルを通じて伝送されて各種雑音によってソフトな値を有するc個のコードビットよりなるコードワードP及びパリティ検査行列保存部110からパリティ検査行列Hを入力されて第1Q行列のQを生成する。コードビットの値がソフトであるということはその値が“0”または“1”でなく、雑音によって歪曲されて“0.238”、“1.376”のアナログ値を有することをいう。“0”または“1”をハードな値であるという時、“0.238”、“1.376”のアナログ値をソフト値であるという。

30

【0019】

R行列生成部130は、第1Q行列生成部120から第1Q行列Qを入力されて第1Q行列の各々の行に対して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び前記第1最小値の位置を利用して、各行の0でない各成分を自己成分値を除外した残りの0でない成分値のうち最小値に代えた後、所定の定数をかけて行列Rを生成する。

【0020】

従来技術では行列Rを生成する場合に、各成分を除外した残りの0でない成分値をいちいち比較してそのうち最小値を決定した後、各成分値を決定された最小値に代える過程を反復しなければならなかった。しかし、本発明によれば各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び第1最小値の位置をまず把握した後、その情報を利用 40 することによって各成分を最小値に代える過程をさらに速くて簡単に行える。

【0021】

R行列生成部130は、第1Q行列Qを入力されて行列Rを生成した後、第2Q行列生成部140から第2Q行列である行列Q'を入力された場合には第1Q行列Qに対するR行列を生成する場合と同様に、同じ動作を行って他のR行列を生成した後に出力する。

【0022】

第2Q行列生成部140は、チャンネルを通じて伝送されたコードワード及びR行列生成部130から行列Rを入力されて第2Q行列Q'を生成する。

【0023】

出力計算部150は、R行列生成部130から入力された行列Rの各列の成分値を合算 50

して一つのコードビットを決定することによってc個のコードビットよりなる復号されたコードワードMを計算して出力する。

【 0 0 2 4 】

図2は、図1に示されたR行列生成部130の詳細構成を示すブロック図である。図2を参照すれば、R行列生成部130は行列成分検査部131及び行列成分決定部133を含む。

【 0 0 2 5 】

行列成分検査部131は、第1Q行列Qまたは第2Q行列Q'を入力されて入力された行列の各行の成分を検査して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、前記第1最小値の位置及び第2最小値を決定して行列成分決定部133に出力する。もし、各行の0でない成分のうち負数が存在すれば、その絶対値を取った後に第1最小値か、あるいは第2最小値かを判断する。

【 0 0 2 6 】

行列成分決定部133は、入力された行列の各行の0でない各成分を自己成分値を除外した残りの0でない成分値のうち最小値に代えた後、所定の定数をかけて行列Rを生成する。

【 0 0 2 7 】

第1Q行列Qまたは第2Q行列Q'を入力されて行列成分検査部131から第1最小値、第1最小値の位置及び第2最小値を入力されて、入力された行列の各行の各成分の位置が第1最小値の位置ではなければ、第1最小値に成分値を代え、第1最小値の位置と一致する成分は第2最小値に成分値を代えて行列Rを生成する。

【 0 0 2 8 】

図3A乃至図3Eは、図1に示されたLDPC復号化装置の各構成要素の入出力である行列の一例を示す図である。

【 0 0 2 9 】

以下では、図3A乃至図3Eを参照して本発明によるLDPC復号化装置の動作を詳細に説明する。

【 0 0 3 0 】

図3Aは、第1Q行列生成部120に入力されるチャンネルを通じて受信されたコードワードP及びパリティ検査行列保存部110に保存されたパリティ検査行列Hの一例を示す。本実施例で、コードワードPは6個のソフトな値を有するコードビットよりなっている。前の3個のコードビットは、メッセージビットであり、後の3個のコードビットはパリティ情報である。パリティ検査行列Hは3×6サイズの行列である。

【 0 0 3 1 】

図3Bは、図3Aに示された受信されたコードワードP及びパリティ検査行列Hを入力されて第1Q行列生成部120で生成した第1Q行列Qを示す図である。

【 0 0 3 2 】

図3C及び図3Dは、R行列生成部130で順次に生成された行列を示す図である。

【 0 0 3 3 】

図3Eは、受信されたコードワードP及び行列Rを入力されて第2Q行列生成部140で生成した行列Q'を示す図である。

【 0 0 3 4 】

第1Q行列生成部120は、パリティ検査行列Hの6個の成分よりなる各行と受信されたコードワードPとを比較して、各行で成分値が1である成分を前記コードワードの相応する位置のコードビット値に代えて図3Bに示したように第1Q行列Qを生成する。

【 0 0 3 5 】

R行列生成部130の行列成分検査部131は、第1Q行列生成部120から図3Bに示された第1Q行列Qを入力されて第1Q行列Qの各行に対して、各行の0でない成分のうち最小値である第1最小値、第2最小値及び前記第1最小値の位置を決定して行列成分決定部133に出力する。

【 0 0 3 6 】

例えば、図 3 B に示された第 1 Q 行列 Q の第一行で 0 でない成分値のうち第 1 最小値は 0.119 であって、第 1 行の第 4 列に位置した値である。第 2 最小値は 0.268 である。

【 0 0 3 7 】

行列成分決定部 133 は、第 1 Q 行列の Q を入力され、行列成分検査部 131 から入力された第 1 Q 行列 Q の各行の第 1 最小値、第 1 最小値の位置及び第 2 最小値を入力されて、第 1 Q 行列 Q の各行の 0 でない各成分の位置が第 1 最小値の位置ではなければ、第 1 最小値にその成分値を代え、0 でない成分のうち第 1 最小値の位置と一致する成分は第 2 最小値に成分値を代えて図 3 C に示されたような行列 R' を生成する。

10

【 0 0 3 8 】

例えば、第 1 Q 行列 Q の第一行の成分が行列成分決定部 133 に入力された場合、第 4 列の成分を除外した残りの 0 でない成分は第 1 最小値の位置ではないので、全て第 1 最小値である 0.119 に成分値を代える。第 4 列の成分は第 1 最小値であるので、第 2 最小値である 0.268 に成分値を代える。

【 0 0 3 9 】

図 3 C に示されたような行列 R' を生成した後、行列成分決定部 133 は行列 R' の各成分ごとに所定の定数をかけて図 3 D に示されたような行列 R を生成する。

【 0 0 4 0 】

所定の定数は、次のような式 (2) によって決められる。

20

【 0 0 4 1 】

$$(-1)^{k*s} \quad (2)$$

定数 s は各行の 0 でない成分のうち自己成分を除外した残りの成分値の符号を積算した値であり、k は各行の 0 でない成分の数に当たる値である。

【 0 0 4 2 】

行列成分検査部 131 及び行列成分決定部 133 は、第 2 Q 行列生成部 140 から第 2 Q 行列 Q' を入力された場合にも第 1 Q 行列生成部 120 から入力された第 1 Q 行列 Q に対して行列 R を生成する場合と同様に、同じ動作を行って他の R 行列を生成する。

【 0 0 4 3 】

第 2 Q 行列生成部 140 は、図 3 A に示された受信されたコードワード P 及び R 行列生成部 130 から図 3 D に示された行列 R を入力されて、行列 R の各列に対して各列で成分値が 0 でない成分にその成分値を除外した残りの 0 でない成分値及び行列 R の各列と同じ列に位置したコードワード P のコードビット値を合算して、図 3 E に示されたものと同じ第 2 Q 行列 Q' を生成する。生成された第 2 Q 行列 Q' は、R 行列生成部 130 に出力される。

30

【 0 0 4 4 】

R 行列生成部 130 は、第 2 Q 行列生成部 140 から第 2 Q 行列 Q' を入力されて再び前述した R 行列生成過程を行って生成された R 行列を出力計算部 150 及び第 2 Q 行列生成部 140 に入力させる。したがって、R 行列生成部 130 及び第 2 Q 行列生成部 140 は、各々 R 行列生成動作及び第 2 Q 行列生成動作を所定回数反復する。

40

【 0 0 4 5 】

出力計算部 150 は、R 行列生成部 130 から入力された行列 R の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによって c 個のコードビットよりなる復号されたコードワード M を計算する。出力計算部 150 は、多数の行列 R が入力される度に復号されたコードワード M を計算するが、N (N は 1 以上の整数) 番目に入力された R 行列に対して復号されたコードワードを出力する。言い換えれば、R 行列生成部 130 で N 番目に生成された R 行列を入力されてコードワードを復号して出力する。R 行列生成動作及び第 2 Q 行列生成動作を所定回数反復した後、コードワードを復号することによってエラー訂正能力が向上する。

【 0 0 4 6 】

50

以下では、図 4 を参照して本発明による LDPC 復号化装置の他の実施例を説明する。
図 4 は、LDPC 復号化装置の他の実施例を示すブロック図である。図 4 を参照すれば、LDPC 復号化装置はパリティ検査行列保存部 210、第 1 Q 行列生成部 220、R 行列生成部 230、第 2 Q 行列生成部 240、出力計算部 250 及び出力決定部 260 を含む。

【 0047 】

図 1 に示された本発明による LDPC 復号化装置の構成要素と差のある構成要素は第 2 Q 行列生成部 240 及び出力決定部 260 である。パリティ検査行列保存部 210、第 1 Q 行列生成部 220、R 行列生成部 230 及び出力計算部 250 は、各々図 1 に示された LDPC 復号化装置で同じ名称を有する対応する構成要素と同様に、同じ入力を受けて同 10
じ動作を行って同じ出力をする。R 行列生成部 230 は、図 2 に示されたような行列成分検査部 131 及び行列成分決定部 133 を含んで構成される。

【 0048 】

以下では、第 2 Q 行列生成部 240 及び出力決定部 260 について詳述する。

【 0049 】

まず、出力決定部 260 は、パリティ検査行列保存部 210 からパリティ検査行列 H 及び出力計算部 250 から復号されたコードワード M を入力されて、パリティ検査行列 H を利用して復号されたコードワード M の復号の成功可否を判断して復号されたコードワード M を出力するか否かを決定する。

【 0050 】

出力決定部 260 は、次の式 (3) を満足すれば、復号成功と判断して復号されたコードワード M を出力する。

【 0051 】

$$H \cdot M = 0 \quad (3)$$

式 (3) で、H は $p \times c$ サイズのパリティ検査行列、M は復号されたコードワードを成分とする列行列であり、0 は零行列である。

【 0052 】

LDPC 符号化時に前記式 (3) を満足するようにパリティ情報が付加されたコードワードを生成したので、復号時にも復号されたコードワードが前記式 (3) を満足すれば、復号が成功的に行われたと判断できる。

【 0053 】

しかし、数回反復してコードワードを復号したが、復号されたコードワードが前記数 3 を満足できなければ、無限に復号を反復できないために、所定回数に復号動作を制限しなければならない。

【 0054 】

第 2 Q 行列生成部 240 は、図 1 に示された第 2 Q 行列生成部 140 と同じ動作を行って第 2 Q 行列 Q' を生成する。しかし、図 1 に示された第 2 Q 行列生成部 140 は行列 R が入力されれば常に行列 Q' を生成したが、第 2 Q 行列生成部 240 は出力決定部 260 が復号失敗と判断した場合、第 2 Q 行列生成部 240 に出力する第 2 Q 行列生成制御命令によって行列 Q' を生成する。

【 0055 】

以下では、図 1、図 2、図 5 及び図 6 を参照して本発明による LDPC 復号化方法の実施例を説明する。

【 0056 】

図 5 は、図 1 に示された本発明による LDPC 復号化装置で実施される LDPC 復号化方法を示すフローチャートである。

【 0057 】

まず、出力計算部 150 は、内部変数 n を 0 に設定する (第 310 段階)。

【 0058 】

第 1 Q 行列生成部 120 は、チャンネルを通じて伝送されて各種雑音によってソフトな 50

値を有する c 個のコードビットよりなるコードワード P を入力される (第 3 2 0 段階)。

【 0 0 5 9 】

第 1 Q 行列生成部 1 2 0 は、コードワード P とパリティ検査行列保存部 1 1 0 に保存されたパリティ検査行列 H の c 個の成分よりなる p 個の各行とを比較して、各行で成分値が 1 である成分を前記コードワードの相応する位置のコードビット値に代えて第 1 Q 行列 Q を生成する (第 3 3 0 段階)。

【 0 0 6 0 】

R 行列生成部 1 3 0 は、第 1 Q 行列 Q の各々の行に対して、各行の 0 でない成分のうち最小値である第 1 最小値、第 2 最小値及び前記第 1 最小値の位置を利用して、0 でない各成分を自己成分値を除外した残りの 0 でない成分値のうち最小値に代えて R 行列を生成する (第 3 4 0 段階)。

【 0 0 6 1 】

出力計算部 1 5 0 は、R 行列生成部 1 3 0 から入力された行列 R の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによって c 個のコードビットよりなる復号されたコードワード M を計算する (第 3 5 0 段階)。

【 0 0 6 2 】

出力計算部 1 5 0 は、変数 n を 1 だけ増加させた後 (第 3 6 0 段階)、変数 n が所定値 N であるか否かを判断して (第 3 7 0 段階)、変数 n が所定値 N であれば、復号されたコードワードを最終復号値に出力する (第 3 8 0 段階)。

【 0 0 6 3 】

出力計算部 1 5 0 は、変数 n が所定値 N でなければ、最終復号値に復号されたコードワードを出力せず、第 2 Q 行列生成部 1 4 0 は受信されたコードワード P 及び R 行列生成部 1 3 0 から行列 R を入力されて、行列 R の各列に対して各列で成分値が 0 でない成分にその成分値を除外した残りの 0 でない成分値及び行列 R の各列と同じ列に位置したコードワード P のコードビット値を合算して第 2 Q 行列 Q' を生成する (第 3 9 0 段階)。生成された第 2 Q 行列 Q' は、R 行列生成部 1 3 0 に出力されて変数 n が所定値 N となるまで第 3 4 0 段階ないし第 3 9 0 段階が反復される。

【 0 0 6 4 】

図 6 は、図 5 に示された第 3 4 0 段階の詳細構成を示すフローチャートである。

【 0 0 6 5 】

R 行列生成部 1 3 0 の行列成分検査部 1 3 1 は、第 1 Q 行列生成部 1 2 0 から第 1 Q 行列 Q を入力されて第 1 Q 行列 Q の各行に対して、各行の 0 でない成分のうち最小値である第 1 最小値、第 2 最小値及び前記第 1 最小値の位置を決定する (第 3 4 1 段階)。

【 0 0 6 6 】

行列成分決定部 1 3 3 は、第 1 Q 行列の Q を入力され、行列成分検査部 1 3 1 から入力された第 1 Q 行列 Q の各行の第 1 最小値、第 1 最小値の位置及び第 2 最小値を入力されて、第 1 Q 行列 Q の各行の 0 でない成分のうち各成分の位置が第 1 最小値の位置ではなければ、第 1 最小値に成分値を代え、第 1 最小値の位置と一致する成分は第 2 最小値に成分値を代えた後、各成分に所定定数をかけて行列 R を生成する (第 3 4 3 段階)。

【 0 0 6 7 】

図 7 は、図 4 に示された本発明による他の LDPC 復号化装置で実施される LDPC 復号化方法を示すフローチャートである。

【 0 0 6 8 】

まず、第 1 Q 行列生成部 2 2 0 は、チャンネルを通じて伝送されて各種雑音によってノイズな値を有する c 個のコードビットよりなるコードワード P を入力される (第 4 1 0 段階)。

【 0 0 6 9 】

第 1 Q 行列生成部 2 2 0 は、コードワード P とパリティ検査行列保存部 2 1 0 に保存されたパリティ検査行列 H の c 個の成分よりなる p 個の各行とを比較して、各行で成分値が 1 である成分を前記コードワードの相応する位置のコードビット値に代えて第 1 Q 行列 Q

を生成する（第 4 2 0 段階）。

【 0 0 7 0 】

R 行列生成部 2 3 0 は、第 1 Q 行列 Q の各々の行に対して、各行の 0 でない成分のうち最小値である第 1 最小値、第 2 最小値及び前記第 1 最小値の位置を利用して、0 でない各成分を自己成分値を除外した残りの 0 でない成分値のうち最小値に代えて R 行列を生成する（第 4 3 0 段階）。

【 0 0 7 1 】

出力計算部 2 5 0 は、R 行列生成部 2 3 0 から入力された行列 R の各列の成分値を合算して一つのコードビットを決定することによって c 個のコードビットよりなる復号されたコードワード M を計算する（第 4 4 0 段階）。

10

【 0 0 7 2 】

出力決定部 2 6 0 は、パリティ検査行列 H を利用して復号の成功可否を判断する（第 4 5 0 段階）。

【 0 0 7 3 】

出力決定部 2 6 0 は、復号成功と判断されれば、復号されたコードワードを出力する（第 4 6 0 段階）。

【 0 0 7 4 】

出力決定部 2 6 0 は、復号失敗と判断されれば、復号されたコードワードを出力せず、第 2 Q 行列生成部 2 4 0 に第 2 Q 行列生成命令信号を出力する。第 2 Q 行列生成部 2 4 0 は受信されたコードワード P 及び R 行列生成部 2 3 0 から行列 R を入力されて、行列 R の各列に対して各列で成分値が 0 でない成分にその成分値を除外した残りの 0 でない成分値及び行列 R の各列と同じ列に位置したコードワード P のコードビット値を合算して第 2 Q 行列 Q' を生成する（第 4 7 0 段階）。生成された第 2 Q 行列 Q' は R 行列生成部 2 3 0 に出力されて、出力決定部 2 6 0 が復号成功と判断するまでまたはコードワードが所定回数の N 番目に復号されるまで、第 4 3 0 段階ないし第 4 7 0 段階が反復される。

20

【 0 0 7 5 】

図 7 に示された第 4 3 0 段階の詳細構成は図 6 に示された通りである。

【 0 0 7 6 】

R 行列生成部 2 3 0 は、第 1 Q 行列生成部 2 2 0 から第 1 Q 行列 Q を入力されて第 1 Q 行列 Q の各行に対して、各行の 0 でない成分のうち最小値である第 1 最小値、第 2 最小値及び前記第 1 最小値の位置を決定する（第 3 4 1 段階）。

30

【 0 0 7 7 】

R 行列生成部 2 3 0 は、第 1 Q 行列の Q を入力されて、第 1 Q 行列 Q の各行の各成分の位置が第 1 最小値の位置ではなければ、第 1 最小値に成分値を代え、第 1 最小値の位置と一致する成分は第 2 最小値に成分値を代えた後、各成分に所定定数をかけて行列 R を生成する（第 3 4 3 段階）。

【 0 0 7 8 】

本発明はコンピュータで読取れる記録媒体にコンピュータが読取れるコードとして具現することが可能である。コンピュータが読取れる記録媒体は、コンピュータシステムによって読取られるデータが保存される全ての種類の記録装置を含む。コンピュータが読取れる記録媒体の例には、ROM、RAM、CD-ROM、磁気テープ、フロッピー（登録商標）ディスク、光データ保存装置があり、またキャリアウェーブ（例えば、インターネットを通じた伝送）状に具現されるものも含む。また、コンピュータが読取れる記録媒体はネットワークに連結されたコンピュータシステムに分散されて、分散方式でコンピュータが読取れるコードで保存されて実行されうる。

40

【 0 0 7 9 】

以上、本発明の幾つかの実施例を説明したが、当業者は本発明の本質から外れない範囲で変形できるということが分かる。本発明の範囲は、特許請求の範囲及びそれと均等な範囲によって定義される。

【産業上の利用可能性】

50

【 0 0 8 0 】

本発明は無線通信または情報保存媒体にデータの記録及び／または再生の分野において、データのエラー訂正・復号に利用される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 1 】

【図 1】本発明によるLDPC復号化装置の一実施例を示すブロック図である。

【図 2】図 1 に示されたR行列生成部の詳細構成を示すブロック図である。

【図 3 A】図 1 に示されたLDPC復号化装置の各構成要素の入出力行列の一例を示す図である。

【図 3 B】図 1 に示されたLDPC復号化装置の各構成要素の入出力行列の一例を示す図 10 である。

【図 3 C】図 1 に示されたLDPC復号化装置の各構成要素の入出力行列の一例を示す図である。

【図 3 D】図 1 に示されたLDPC復号化装置の各構成要素の入出力行列の一例を示す図である。

【図 3 E】図 1 に示されたLDPC復号化装置の各構成要素の入出力行列の一例を示す図である。

【図 4】本発明によるLDPC復号化装置の他の実施例を示すブロック図である。

【図 5】図 1 に示された本発明によるLDPC復号化装置で実施されるLDPC復号化方法を示すフローチャートである。 20

【図 6】図 5 に示された第 3 4 0 段階の詳細構成を示すフローチャートである。

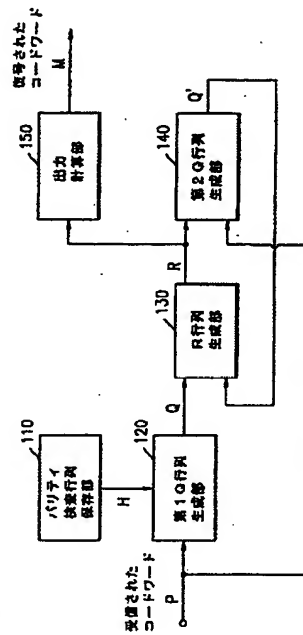
【図 7】図 4 に示された本発明による他のLDPC復号化装置で実施されるLDPC復号化方法を示すフローチャートである。

【符号の説明】

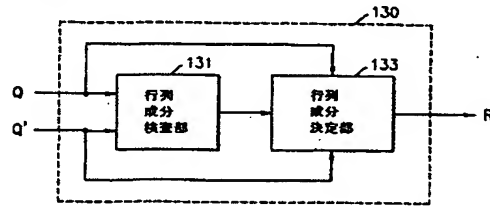
【 0 0 8 2 】

- 1 1 0、2 1 0 パリティ検査行列保存部
- 1 2 0、2 2 0 第 1 Q 行列生成部
- 1 3 0、2 3 0 R 行列生成部
- 1 3 1 行列成分検査部
- 1 3 3 行列成分決定部
- 1 4 0、2 4 0 第 2 Q 行列生成部
- 1 5 0、2 5 0 出力計算部
- 2 6 0 出力決定部

【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 A 】

$$P = \begin{bmatrix} 0.268 & 0.881 & 0.119 & 0.119 & 0.881 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【 図 3 B 】

$$Q = \begin{bmatrix} 0.268 & 0.881 & 0 & 0.119 & 0 & 0 \\ 0 & 0.881 & 0.119 & 0 & 0.881 & 0 \\ 0.268 & 0 & 0.119 & 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

【 図 3 C 】

$$R' = \begin{bmatrix} 0.119 & 0.119 & 0 & 0.268 & 0 & 0 \\ 0 & 0.119 & 0.881 & 0 & 0.119 & 0 \\ 0.119 & 0 & 0.268 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix}$$

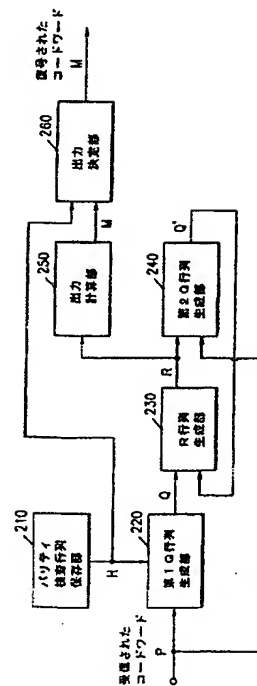
【 図 3 D 】

$$R = \begin{bmatrix} -0.119 & -0.119 & 0 & -0.268 & 0 & 0 \\ 0 & -0.119 & -0.881 & 0 & -0.119 & 0 \\ -0.119 & 0 & -0.268 & 0 & 0 & -0.119 \end{bmatrix}$$

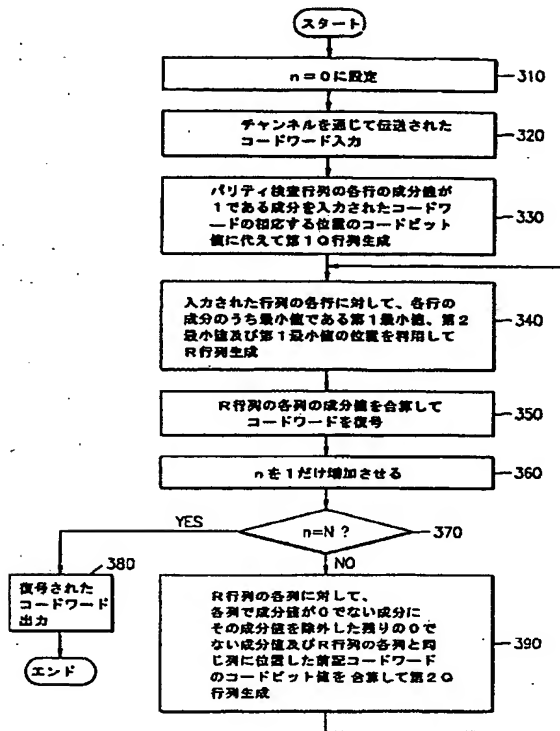
【 図 3 E 】

$$Q' = \begin{bmatrix} 0.149 & 0.762 & 0 & 0.119 & 0 & 0 \\ 0 & 0.762 & -0.149 & 0 & 0.881 & 0 \\ 0.149 & 0 & -0.762 & 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

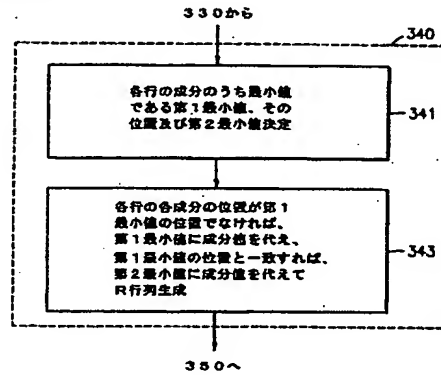
【 図 4 】



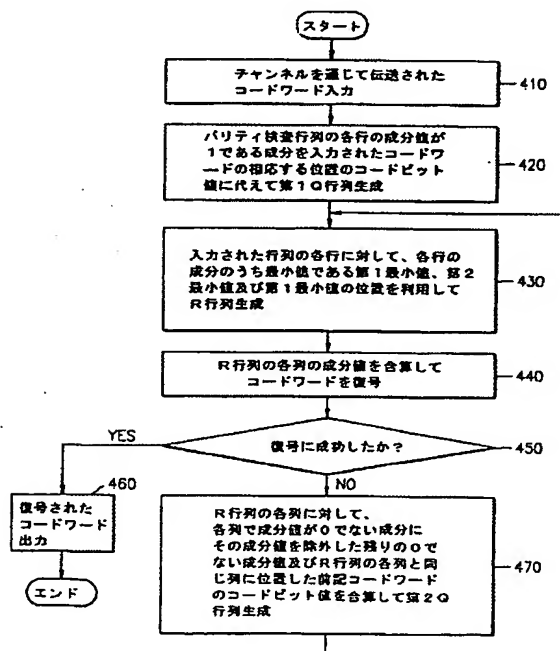
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(72)発明者 朴 仁 植

大韓民国京畿道水原市八達区靈通2洞967-2番地 シンナムシル極東アパート615棟801号

(72)発明者 沈 載 晟

大韓民国ソウル特別市広津区紫陽1洞610-35番地

(72)発明者 韓 声 休

大韓民国ソウル特別市松坡区文井2洞150番地 ファミリー1団地アパート102棟1006号

Fターム(参考) 5J065 AC02 AC03 AD02 AE06 AF02 AH01 AH02 AH08 AH15

【要約の続き】

雑度を低下させてLDPC復号化性能を向上させる。

【選択図】 図5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.